



Pernambuco Tridimensional: Potencialidades no Uso do Geoprocessamento para a Exploração do Conceito Base Zero no Município de Afogados da Ingazeira – PE

Pernambuco Three-Dimensional: Potentiality in the Use of Geoprocessing for the Exploration of the Base Zero Concept in the Municipality of Afogados of Ingazeira - PE

Renata Miranda da Silva¹; Ana Lúcia Bezerra Candeias¹; Nathalia Rose Silva da Purificação¹;
Lígia Albuquerque de Alcântara¹ & José Artur Padilha²

¹Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Av. Prof. Moraes Rego, 1235, 50670-901, Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil

²Academia Pernambucana de Engenharia, Rua do Hospício, 371, 50060-080, Boa Vista, Recife, PE, Brasil

E-mails: eng.renatamiranda@gmail.com; alcandeias@yahoo.com.br; nathaliarosesilva@gmail.com;
ligia.alcantara@yahoo.com.br; josearturpadilha@gmail.com

DOI: http://doi.org/10.11137/2020_2_437_448; Recebido: 04/02/2020 Aceito: 20/05/2020

Resumo

A região Nordeste caracteriza-se como estigma da seca. O clima predominante, que é o semiárido, e fatores como chuvas irregulares, baixa precipitação anual, evaporação excessiva e produção agrícola quase nula, sempre foram motivos para a evasão em massa da população. Dessa forma, a escassez deste recurso leva a entidades políticas, acadêmicas e até mesmo a própria sociedade a estudarem e desenvolverem técnicas, alternativas e ferramentas que possibilitam conviver com o semiárido. Surgiu há 50 anos, o Conceito Base Zero, que foi criado com a perspectiva de uma economia sustentável através da delimitação de microbacias no sertão. A automatização para análise dessas áreas inclui ferramentas de geoprocessamento, que podem auxiliar na obtenção de pontos de mínimos locais, declividade e potencial hídrico da região dentro de uma dada microbacia hidrográfica. Este trabalho apresenta um modelo de convivência com a seca no semiárido nordestino atrelado aos dados do Programa Pernambuco Tridimensional – PE 3D. Foi mostrado a potencialidade dessas informações para estudos hidrológicos, proporcionando um maior nível de detalhamento e, um ganho na qualidade dos produtos obtidos por sensores remotos ativos, através de ferramentas de geoprocessamento. A metodologia foi aplicada na área teste da Microbacia Carapuças, no município de Afogados da Ingazeira, em Pernambuco que sofre uma dramática situação social devido à seca. A análise morfométrica associada com a geração de produtos cartográficos permitiu entender a sua dinâmica hidrológica, as relações existentes entre elas e, os diversos componentes do meio físico, de modo a associar ao potencial hídrico da região, se tornando um fator fundamental para o manejo e o gerenciamento de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Conceito Base Zero; PE 3D; Microbacias Hidrográficas

Abstract

The Northeast region is characterized as a stigma of drought. The predominant climate, which is semi-arid and factors such as irregular rains, low annual rates, excessive evaporation and almost zero agricultural production, have always been reasons for mass evasion of the population. Thus, a scarcity of this resource leads political, academic entities and even society itself to study and develop techniques, alternatives and tools that allow them to live with the semiarid region. The Base Zero Concept appeared 50 years ago, which was created with a perspective of sustainable economy through the delimitation of microbasins in the state. The automation for analyzing these areas includes geoprocessing tools, which can assist in the use of local minimum points, slope and water potential of the region within a given hydrographic watershed. This work presents a model of coexistence with drought in the northeastern semiarid linked to data from the Pernambuco Tridimensional Program - PE 3D. The potential of this information was demonstrated for hydrological studies, the use of a higher level of detail and the quality gain of the products used by the active remote sensors, through geoprocessing tools. The methodology was applied in the test area of the Carapuças watershed, in the municipality of Afogados da Ingazeira, in Pernambuco, which suffers a dramatic social situation due to drought. A morphometric analysis associated with the generation of cartographic products allowed to understand its hydrological, as existing relationships between them and, the different components of the physical environment, in order to associate the water potential of the region, if a fundamental factor for the management and management of watersheds.

Keywords: Zero Base Concept; 3D PE; Watersheds

1 Introdução

O Brasil é considerado um país privilegiado devido ao seu volume de recursos hídricos. A utilização em abundância desses recursos justifica o crescente número de estudos e de discussões nas questões ambientais que visam promover soluções sustentáveis e ágeis ao meio ambiente. Pesquisas confirmam que há uma desigualdade quanto a distribuição hídrica no país, que por não ser uniforme, a oferta da água tratada reflete diretamente no desenvolvimento social existente.

Com o passar os anos, tecnologias da geoinformação e sociais foram estruturadas e aperfeiçoadas visando fortalecer a conexão homem e semiárido. Introduzir técnicas e metodologias possibilitam a replicação dessas ideais para combater os problemas hídricos. Hoje, de acordo com Pontes (2010), conviver com esse clima leva a crer em propostas de sobrelevar a discrepância entre visão e realidade, sugerindo e implantando uma nova maneira de vida e produção sustentáveis. Alves (2017) afirma que a escassez da região leva a entidades políticas, acadêmicas e até mesmo a própria sociedade a estudarem e desenvolverem técnicas, alternativas e ferramentas que possibilitam conviver com o clima.

É frequente a construção de reservatórios superficiais ou açudes para o armazenamento das águas acumuladas, uma vez que os rios apresentam regime temporário, com exceção do rio São Francisco que se destaca em meio à seca. Entretanto, segundo Brito *et al.* (2007), estes reservatórios geralmente apresentam restrições quanto à qualidade da água, principalmente devido à salinização, gerando prejuízo às culturas e aos terrenos à jusante, além de comprometer o consumo humano e outros usos da água.

A visão de estudiosos volta-se para criação de mecanismos legais a fim de solucionar o problema da seca (Kuster & Martí, 2009; Galvão *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2012; Barreto & Pinto, 2017; Castro, 2017; Pérez-Marin *et al.*, 2017; Aguiar, 2019), de modo a buscar meios para subsidiar a população destas áreas nas épocas de estiagem, gerando discussões que convergem para a preservação e para o uso sustentável da água de bacias hidrográficas.

Neste contexto, formas de combater a escassez da água no sertão vem dando lugar a um novo paradigma dos planos de convivência e a mitigação dos efeitos dela, e é aí que está a questão central deste trabalho. De acordo com Gheyi *et al.* (2012) para resolver o problema hídrico nessa região, a água de chuva deve ser considerada como uma das principais fontes de água disponíveis possíveis de serem captadas. Dentre várias alternativas de convivência existentes, o Conceito Base Zero – CBZ – vem sendo notado e implantado em municípios do semiárido nordestino.

O Conceito Base Zero foi criado como uma alternativa para atenuar a seca hidrológica no sertão e idealizado pelo Engenheiro Mecânico José Artur Padilha. Adotado pela Agenda 21 na área de Agricultura Sustentável do Governo Federal, a ideia busca explorar as áreas agrícolas presentes na região, que são obtidas a partir da construção de barramentos de pedra em formato de arco romano acoplados em série (Figura 1), feito exclusivamente com pedras do próprio local, sem argamassa, organizadas de forma que funcionem a partir da compressão das águas das chuvas.

Os barramentos, encadeados em distâncias que variam em função da declividade do terreno, propiciam o acúmulo de sedimentos à montante do arco romano. A Figura 1 ilustra a disposição dos barramentos e a sua dinâmica nos leitos dos rios: (A) Os arcos são construídos a partir da justaposição das pedras, sem o auxílio de argamassa, de modo que sua convexidade esteja voltada para as nascentes e trabalhem, do ponto de vista estrutural, quase exclusivamente à compressão. (B) Na ocorrência de chuvas, os barramentos acoplados em série permitem que a água escoe mais lentamente e fique armazenada em platôs. (C) Ao reduzir a velocidade de escoamento, parte da água acumulada na superfície se infiltra no solo. (D) Através da percolação nos estratos geológicos, formam-se reservatórios subterrâneos rasos, livres da evaporação. (E) Nos pontos mais altos e próximos às nascentes, constroem-se as cacimbas, que acumulam a água e, por gravidade (F), este recurso é transportado para todo o território da microbacia.

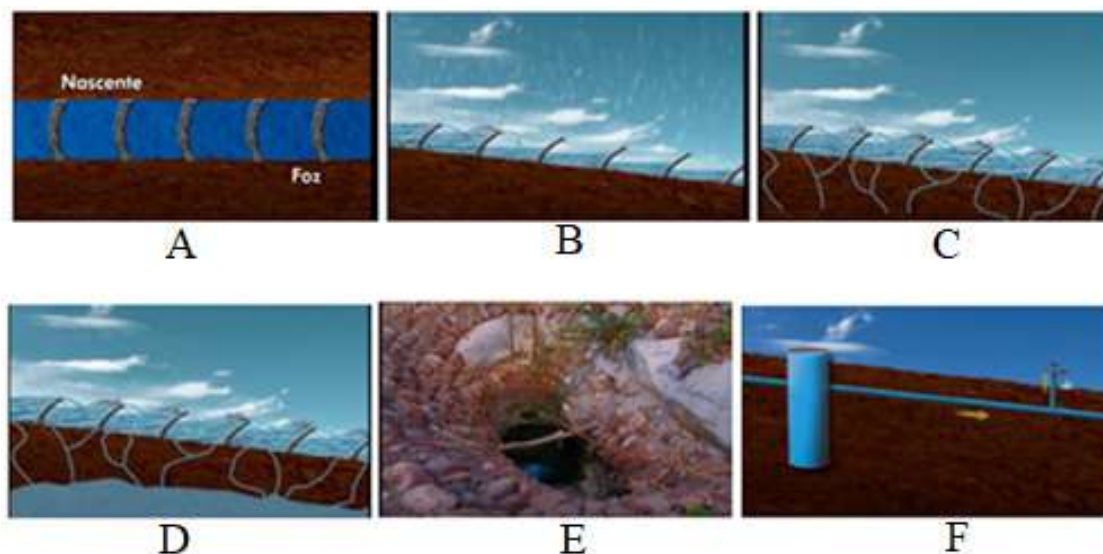


Figura 1 Esquematisação do funcionamento dos barramentos de pedra (Segundo Ceralpa Ltda. Vídeo Projeto BASE ZERO - Programa Globo Rural, 2012. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=UF3zT7rJM4g>>. Website. Acesso em: 09 nov. 2019)

O projeto foi criado há cinco décadas, sendo aperfeiçoado durante os anos posteriores, e aplicado na Fazenda Caroá, no município de Afogados da Ingazeira, onde trouxe benefícios à comunidade local, aos trabalhadores e pecuaristas que compõem a comunidade. Partindo desse pressuposto, sentiu-se a necessidade de um novo estudo na área, visando buscar por novas fontes de dados a fim de replicá-lo em outras áreas do sertão nordestino. A aplicação do CBZ, feita na comunidade de Carapuças, no município de Afogados da Ingazeira, surgiu a partir da observação cuidadosa dos fenômenos naturais da área e de sua interação com obras de infraestruturas para reter água da chuva.

A construção de barramentos de pedra em formato é uma das alternativas para combater a seca, contendo a água da chuva e viabilizando o acúmulo de água no subsolo das unidades rurais e a construção de singelos sistemas gravitacionais de captação, condução, armazenamento e distribuição de água subterrânea rasa.

De acordo com Padilha (2012), adotar este método de barramentos auxilia também na contenção das partículas sólidas que poderiam gerar assoreamento nos cursos d'água. Santos *et al.* (2012) avaliaram o uso dessa técnica de captação e armazenamento da água das chuvas, bem como da técnica de barragem subterrânea para uso em atividades agropecuárias no semiárido. Os autores afirmam que a água armazenada por esse método é suficiente para irrigar determinada área, mas que permitem a produção, mesmo em períodos

de estiagem, de uma quantidade de alimentos que atendam pelo menos parte da necessidade das famílias de agricultores.

Ximenes (2017) elaborou um estudo que enfatizou o funcionamento da construção de barramentos de pedra e analisou a eficácia dos barramentos sucessivos *in loco* a fim de identificar as suas potencialidades na questão de captação e armazenamento de águas pluviais. Purificação & Silva (2017) exploraram essa alternativa atrelando à utilização das tecnologias de geoinformação e afirmaram que essa conexão, não ocorrida antes devido ao grande período de tempo de processamento de dados e de um baixo nível de detalhamento dessas informações, é meio necessário para auxiliar no conhecimento da topografia local da região visando auxiliar na implantação de metodologias que beneficiem a recuperação do solo, da fauna e da flora nativas.

Neste contexto, o presente trabalho utiliza o sensoriamento remoto através de técnicas de processamento digital de imagens e de Sistema de Informação Geográfica – SIG, propondo a exploração do CBZ atrelado aos dados do Programa Pernambuco Tridimensional – PE 3D. A utilização desses novos dados permite investigar o grau de potencialidade em gerar produtos cartográficos, de modo que estes possam ser utilizados para beneficiar áreas do semiárido nordestino visando combater a problemática da escassez de água através da alternativa do Conceito Base Zero.

2 Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

A área escolhida para realização desta pesquisa situa-se no município de Afogados da Ingazeira, mais precisamente na Fazenda Caroá, no povoado de Carapuças, área piloto de implantação do CBZ. O município em questão está situado na bacia de São Francisco que, segundo o SNIRH - Sistema Nacional de Recursos Hídricos, se estende por parte dos estados de Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, Alagoas, Sergipe, Goiás e Distrito Federal, compreendendo uma área de 638.576,00 km² que corresponde a 7,5% do território nacional.

Em Pernambuco, o município encontra-se na sub-bacia hidrográfica do rio Pajeú, na microrregião do Sertão Alto do Pajeú (Figura 2). De acordo com o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú, criado pela Resolução CRH 03/2000, a bacia possui uma área de 16.686 km², sendo a maior do estado de Pernambuco com 16,97% do seu território, e está localizada entre as coordenadas 07°16'20"S e 08°56'01"S, e 36°59'00"W e 38°57'45"W, formando a Unidade de Planejamento Hídrico UP9.

Do ponto de vista climático, de acordo com Pontes (2010), o semiárido é caracterizado por períodos críticos de prolongadas estiagens, resultado da baixa pluviosidade e alta evapotranspiração. Analisando estas características, é importante ressaltar que no sertão, exclusive no período entre janeiro e abril, os valores de evaporação são superiores à precipitação média mensal, com pequeno ou nenhum excesso de água.

Por se estender por aproximadamente 386 km², de acordo com o Grupo de Trabalho Interministerial para Redelimitação do Semiárido do Nordeste e do Polígono das Secas (2017), o município, administrativamente, é formado pelo distrito sede e pelos povoados de Queimada Grande e Carapuças. Sendo este último onde se encontra a Fazenda Caroá, situada na porção Sul do município, com cerca de 650 ha, dos quais 450 estão inclusos numa mesma microbacia hidrográfica, denominada Microbacia Hidrográfica Carapuças (MBH) que possui 2000 ha.

O estudo voltou-se especificamente a esta microbacia, que foi delimitada após o conhecimento da topografia do terreno e da drenagem de todo o entorno da Fazenda. Foram delimitadas microbacias que faziam parte da confluência entre Afogados da Ingazeira, Custódia, Igaraci e Carnaíba e posteriormente extraída apenas a Microbacia Carapuças visando efetuar estudos sobre a mesma.

A Figura 3 ilustra as microbacias delimitadas e apresenta em destaque a região em questão a ser estudada. A legenda do mapa mostra a rede de drenagem que abrange os municípios, a MBH Carapuças em evidência, as microbacias que compreende toda a área, os limites municipais que fazem confluência com Afogados da Ingazeira e, por fim, o estado de Pernambuco, respectivamente. O último item contido na legenda é o Modelo Digital do Terreno – MDT, que está sob todas as camadas supracitadas. O MDT representa a superfície do solo, e, de acordo com a legenda, a microbacia possui altitude mínima 478 m e máxima 949 m.

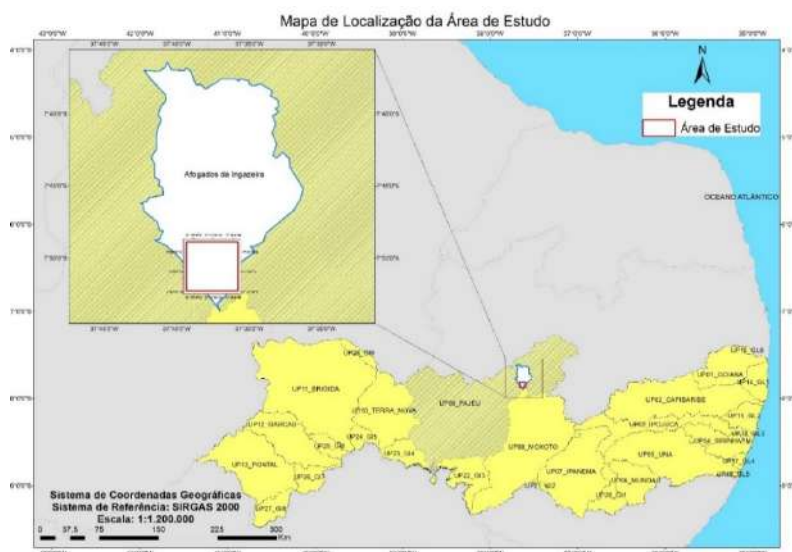


Figura 2 Mapa de Localização da área de estudo

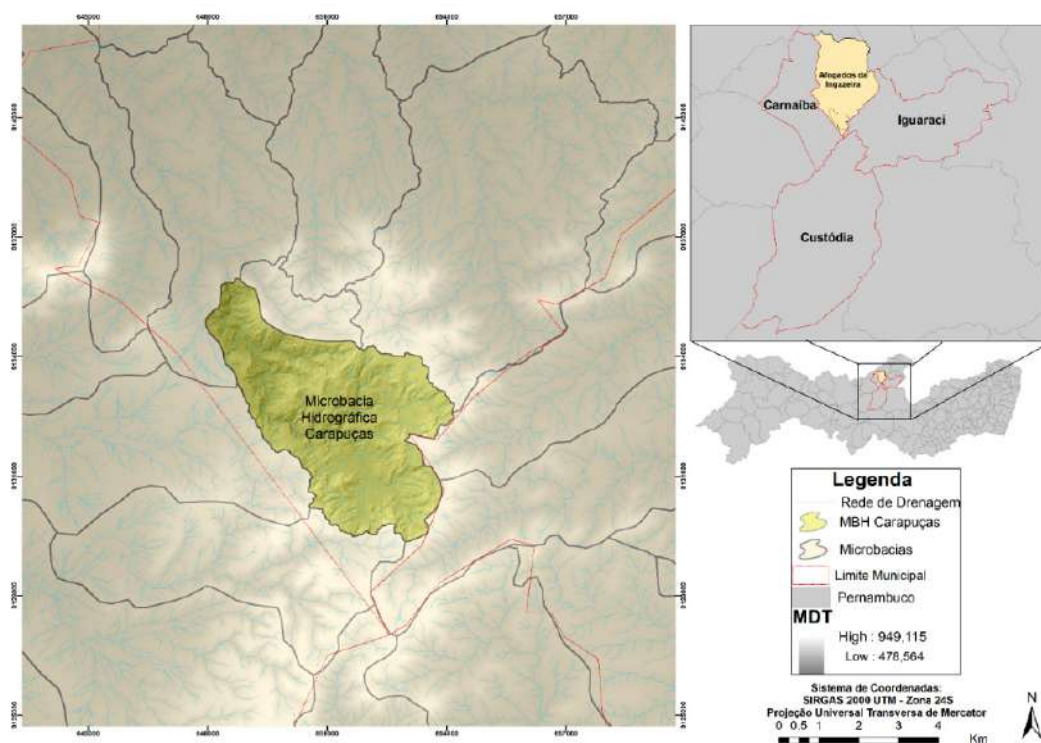


Figura 3 Localização da Microbacia Hidrográfica Carapuças no município de Afogados da Ingazeira

2.2 Descrição da Pesquisa

As etapas seguidas para o desenvolvimento do trabalho são mostradas na Figura 4. A primeira etapa consistiu no estudo do tema, seguido do levantamento bibliográfico e a escolha da área de estudo.

A segunda etapa foi reservada para aquisição e tratamento dos dados. No que diz respeito a obtenção desse acervo utilizado, o Governo do Estado deu início ao Programa Pernambuco Tridimensional – PE 3D que realizou levantamento fotogramétrico e perfilamento a laser de todo o território de Pernambuco possibilitando a geração e posterior disponibilização do Modelo Digital do Terreno para o Estado. Os Modelos Digitais do Terreno (MDT) gerados a partir de perfilamento a laser são ferramentas de grande importância, pois estão prontamente disponíveis. Possuem aplicação na extração automática da rede de drenagem, delimitação de bacias e na obtenção de parâmetros hidrográficos e morfométricos (Felgueiras, 1997).

O MDT produzido a partir do perfilamento laser do PE 3D foi obtido através de uma filtragem do MDE (Modelo Digital de Elevação) que consiste na amostragem de todos os pontos que retornam após

a emissão do feixe de luz, fornecidos num arquivo “x, y, z, i” que contém coordenadas e o percentual de intensidade do retorno de luz. O conjunto de pontos obtidos representa todos os alvos da superfície como vegetação, edifícios, pontes e corpos d’água (Cirilo *et al.*, 2015). O MDT do PE 3D foi obtido com erro máximo altimétrico melhor que 25 cm e resolução de 1 m definida para a escala 1:5.000 (Consórcio de Águas de Pernambuco, 2017).

A terceira e última etapa consistiu no processamento e na análise dos dados, subdividindo-se em analisar a morfometria da microbacia visando compreender a realidade local, tendo em vista que analisar essas características possibilita descrever como é a geometria, o relevo e a rede de drenagem da região. Correlacionando este estudo com o CBZ, a análise de parâmetros morfométricos permite subsidiar em um melhor gerenciamento dos meios naturais, bem como o conhecimento e a análise dos recursos hídricos. Em seguida, foram elaborados produtos cartográficos a fim de oferecer uma contribuição efetiva para articular e atualizar propostas de ações para o desenvolvimento sustentável e a preservação dos recursos naturais da área.

Pernambuco Tridimensional: Potencialidades no Uso do Geoprocessamento para a Exploração do Conceito Base Zero no Município de Afogados da Ingazeira – PE

Renata Miranda da Silva; Ana Lúcia Bezerra Candeias; Nathalia Rose Silva da Purificação;
Lígia Albuquerque de Alcântara & José Artur Padilha

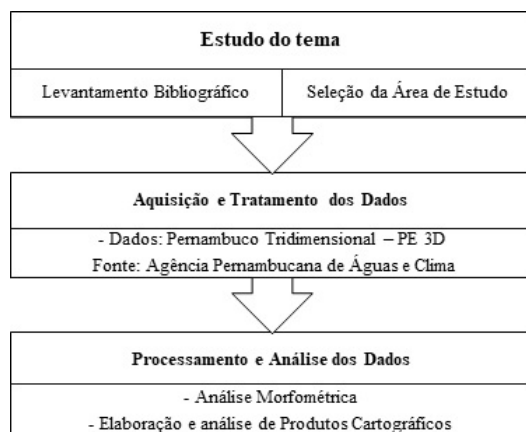


Figura 4 Etapas desenvolvidas no trabalho

A análise da morfometria da microbacia foi feita visando conhecer seu desempenho hidrológico. As características que foram analisadas são apresentadas na Tabela 1.

PARÂMETROS	EQUAÇÃO	DESCRIÇÃO
Características geométricas		
Índice de compacidade (Kc)	$Kc = 0,28 \times P/\sqrt{A}$	P = perímetro (km); A = área da bacia (km ²)
Fator de forma (F)	$F = A/L^2$	A = área da bacia (km ²); L = comprimento do eixo da bacia (da foz ao ponto extremo mais longínquo no espigão) (km)
Índice de circularidade da bacia (Ic)	$Ic = 12,57 \times A/P^2$	A = área da bacia (km ²); P = perímetro (km)
Características da Rede de Drenagem		
Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = \Sigma Lc/A$	Lc = comprimento dos canais (km); A = área da bacia (km ²)
Densidade hidrográfica (Dh)	$Dh = N/A$	N = número de rios ou cursos d'água; A = área da bacia (km ²)
Tempo de concentração (Tc)	$Tc = 0,127 \times \sqrt{A/I}$	A = área da bacia, em km ² ; I = declividade média do curso d'água principal, em m/m;
Características do Relevo		
Índice de sinuosidade (Is)	$Is = CP/dv$	CP = comprimento do canal principal (km); dv = dist. vetorial entre os pontos extremos do canal principal (km)
Índice de rugosidade (Ir)	$Ir = Hm \times Dd$	Hm = amplitude altimétrica (m); Dd = densidade de drenagem;
Gradiente de canais (Gc)	$Gc = Hm/L \text{ (\%)}$	Hm = amplitude altimétrica (m); CP = comprimento do canal principal (m);
Amplitude altimétrica (Hm)	$Hm = P. \text{ Máx.} - P. \text{ Mín.}$	P. Máx. = Perímetro máximo da bacia (m); P. Mín. = Perímetro mínimo da bacia (m);
Declividade do rio principal	$D = P. \text{ Máx.} - P. \text{ Mín.} / L$	P. Máx. = Perímetro máximo do rio (m); P. Mín. = Perímetro mínimo do rio (m); L = comprimento do rio (km);
Declividade da bacia	$D = P. \text{ Máx.} - P. \text{ Mín.} / L$	P. Máx. = Perímetro máximo da bacia (m); P. Mín. = Perímetro mínimo da bacia (m); L = comprimento do rio (km);

Tabela 1 Características Fisiográficas relevantes para a análise da estrutura e dinâmica das bacias hidrográficas (Segundo Almeida, 2017)

2.3 Base de Dados Espaciais

Os modelos digitais do terreno foram obtidos junto à Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC, que disponibilizou os dados oriundos do Programa Pernambuco Tridimensional. As folhas adquiridas possuem articulação compatível com a escala de 1:5000, estando disponíveis com resolução espacial de 1 m e georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro SIRGAS 2000, com Sistema de Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM).

3 Resultados e Discussões

3.1 Análise Morfométrica da Microbacia Carapuças

A caracterização das variáveis morfométricas da MBH permitiu uma análise representativa e investigativa do comportamento do relevo, da sua

forma, e por consequência, da rede de drenagem que compõe a área. Este estudo possibilitou estabelecer as relações entre os parâmetros dimensionais da microbacia e os seus condicionantes, através de índices numéricos, relevante na caracterização das potencialidades da região de uso.

O CBZ foi idealizado a partir da observação dos limites e das exigências da ecologia local, considerando a precipitação média anual, o potencial médio de evapotranspiração e o escoamento superficial da região, definindo a área média das microbacias hidrográficas de aproximadamente 2000 ha (dois mil hectares), haja vista que essa área seria suficiente para contemplar certo número de famílias sem ultrapassar os limites dos recursos naturais.

A análise dos resultados (Tabela 2) mostra que a área de drenagem da microbacia é de 20,65 km², equivalente à 2065 ha e perímetro com 24,76 km.

Parâmetros	Unidades	Resultados
Área da Microbacia (A)	km ²	20,65
Perímetro (P)	km	24,76
Índice de compacidade (Kc)	---	1,52
Fator de forma (F)	---	0,33
Índice de circularidade (Ic)	---	0,42
Densidade de drenagem (Dd)	km/km ²	0,67
Densidade hidrográfica (Dh)	canais.km ⁻²	1,93
Tempo de concentração (Tc)	min	3,15
Índice de sinuosidade (Is)	---	1,39
Índice de rugosidade (Ir)	---	0,19
Gradiente de canais (Gc)	%	27,33
Amplitude altimétrica (Hm)	m	293
Declividade do rio principal	%	3,7
Declividade da bacia	%	1,2

Tabela 2 Resultados morfométricos obtidos para a Microbacia Carapuças.

O coeficiente de compacidade maior que 1 (1,52) e o fator de forma baixo (0,33) permitiram afirmar que a bacia é pouco susceptível a enchentes, pois não possui formato circular, tendendo à forma alongada com baixo risco de enchentes sazonais, confirmado, dessa forma, pelo índice de circularidade (0,42) que mostra que a microbacia apresenta menor risco de enchentes nas condições normais de precipitação, e devido ao seu formato mais alongado favorece o escoamento superficial da

mesma.

O baixo valor de densidade de drenagem (0,67), estão associados à presença de rochas impermeáveis, colaborando no processo de infiltração da água no solo e minimizando o escoamento superficial e o risco de erosão do solo. Relacionando este valor às exigências do CBZ, os valores baixos de densidade de drenagem, implicam a necessidade da construção de barramentos de pedras para que a água permaneça disponível por mais tempo no local.

A densidade hidrográfica (1,93) expressa o comportamento da rede hidrográfica em sua capacidade de gerar novos cursos d'água em função das características pedológicas e climáticas da área, este, apresentou o valor <3 canais.km⁻², sendo denominado baixo, devido ao relevo plano da microbacia.

O tempo de concentração foi mensurado em 3,15 min. Este índice corresponde ao tempo que a partícula de água de chuva que cai no ponto mais afastado da bacia leva para, escoando superficialmente, chegar ao exutório. O valor demonstra que o tempo de concentração do fluxo até o seu exutório é lento, com vazões mais regulares.

O índice de sinuosidade é um dos fatores controladores da velocidade de escoamento do canal, segundo Stipp *et al.* (2010), valores acima de 2,0 é característico de uma rede de drenagem sinuosa, podendo haver acúmulo de sedimentos ao longo do canal, o que pode ser agravado pela ação antrópica. O valor obtido (1,39) indica que quase não existe sinuosidade controlando a velocidade de escoamento do curso d'água.

O índice de rugosidade relaciona a disponibilidade do escoamento hídrico superficial com o potencial erosivo, expresso pela declividade média. Ou seja, quanto maior for esse índice, maior será o risco de degradação da bacia quando as vertentes são íngremes e longas. O fator do Ir calculado (0,19) foi considerado baixo, sendo um indicativo de vertentes pouco íngremes e não muito alongadas, atribuindo a este resultado o fato de possuir um terreno com declividade baixa e com boa capacidade de recarga hídrica.

A amplitude altimétrica (293) tende a favorecer o escoamento rápido. Este parâmetro possui relação direta com o índice de rugosidade da bacia, a qual foi considerada média, conforme classificação definida por Sousa & Rodrigues (2012). As informações quantitativas referentes à declividade da microbacia apontaram que maior parte do relevo está compreendido na categoria de um relevo plano, conforme a classificação da Embrapa (2018) com valor de declividade média de 1,2%.

A declividade é um parâmetro relevante a ser observados no estudo das microbacias, pois, áreas que apresentam declividade acentuada, proporcionam uma rápida concentração de água

da chuva, fator este que pode ocasionar picos de enchentes. O CBZ foi aplicado em áreas do sertão, regiões nas quais possuem um alto índice de evapotranspiração e baixo índice de pluviosidade, o que leva a afirmar que a época de estiagem acontece na maior parte do ano. Neste contexto, os diques de barramento de pedra construídos ao longo da MBH Carapuças foram idealizados de modo obter o aproveitamento máximo da água da chuva, com o objetivo de restaurar a fauna e a flora nativas, de modo que o armazenamento subterrâneo hídrico seja capaz de conservar estas águas nos meses de estiagem. Para o conhecimento dos pontos adequados de construção de diques, o conhecimento morfométrico da microbacia se faz necessário. O relevo, por ser plano, segundo Miotto *et al.* (2017) apresenta baixa declividade, podendo, dessa forma, ser desenvolvidas atividades como a agricultura e a pecuária utilizando-se práticas simples de manejo do solo, sendo esta, segundo Barreto & Pinto (2017) menos propensa a erosão e aumentando a possibilidade de infiltração no solo.

3.2 Produtos Cartográficos

A declividade é a característica que afeta direta e consideravelmente o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, dessa maneira, é de extrema relevância o seu conhecimento para o manejo e planejamento. O mapa foi gerado com intervalos em percentual e a espacialidade da declividade na microbacia Carapuças está apresentada na Figura 5. A microbacia apresenta uma declividade média igual a 3,34%, que, segundo a Embrapa (2018), caracteriza-se como o relevo plano.

Para uma melhor consistência da análise, fez-se a reclassificação da imagem para calcular o valor de área para cada classe obtida. A partir da calculadora *raster* do *ArcGIS* transformou-se os valores os de todos os pixels da imagem, em valores na faixa de 1 a 6 que representam a classe de declividade correspondente.

Na fórmula, apenas uma das condições será verdadeira, resultando no valor 1, e as demais serão falsas, resultando no valor 0. A condição verdadeira, terá seu resultado multiplicado pelo correspondente de 1 e 6.

Após esta fase, poligonalizou-se o *raster* para obter um vetor, a fim de agrupar todas as feições do *shapefile* em apenas 6 feições. Em seguida extraiu-se

o valor das áreas de cada classe de declividade em km².

Na Tabela 3, observa-se que a MBH Carapuças apresenta 58,23% da sua área com relevo plano, de acordo com a Embrapa (2018). Dentre as

outras classes de relevo, a que apresentou menor representatividade na microbacia foi a de relevo escarpado ou fortemente montanhoso, apresentando distribuição de 0,004% e área de 0,0009 km². Associado com as condições climáticas da região.

Declividade (%)	Discriminação	Área (Km ²)	%
0 – 3	Relevo Plano	12,02	58,23
3 – 8	Relevo Suavemente Ondulado	7,57	36,65
8 – 20	Relevo Ondulado	0,82	4,01
20 – 45	Relevo Fortemente Ondulado	0,18	0,90
45 – 75	Relevo Montanhoso	0,04	0,19
75	Relevo Escarpado ou Fortemente Montanhoso	0,0009	0,0044
Total		20.65	100

Tabela 3 Distribuição das classes de declividade na Microbacia Hidrográfica Carapuças

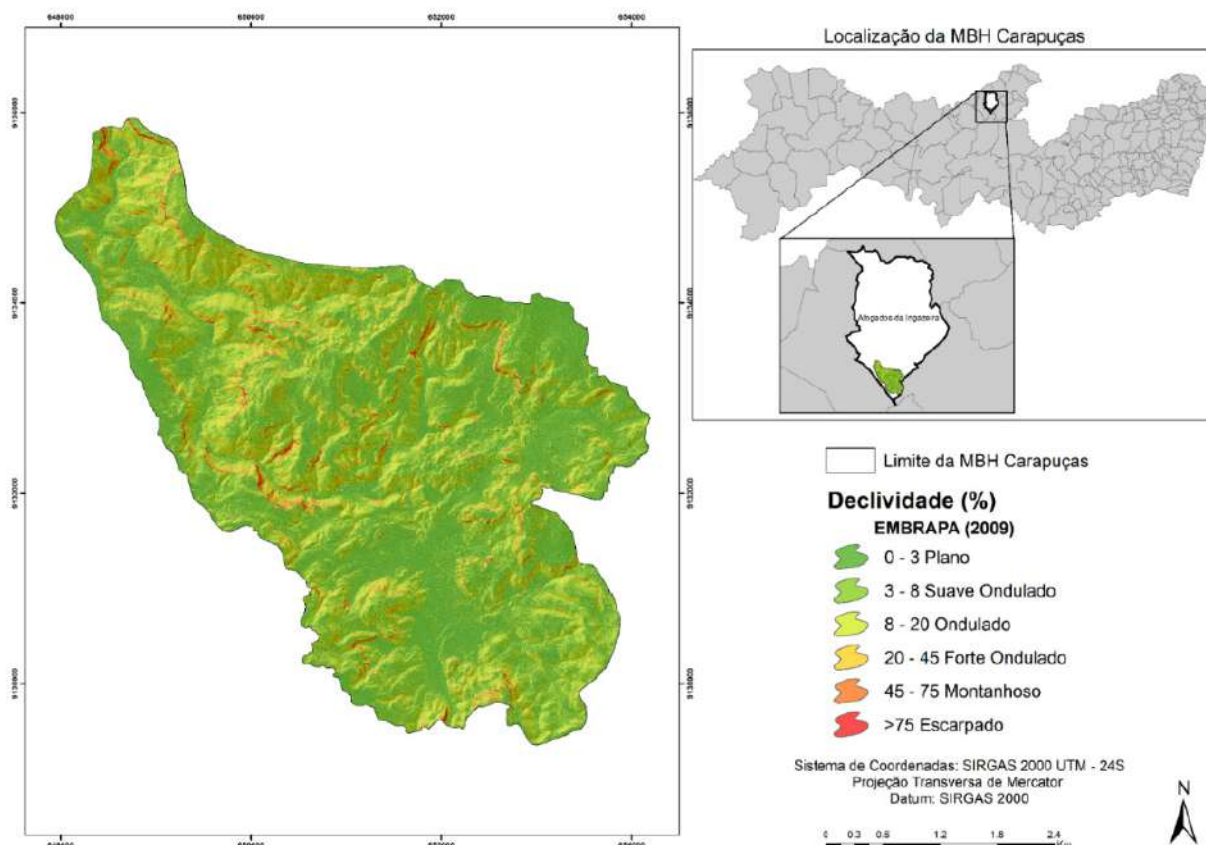


Figura 5 Espacialização da declividade na Microbacia Hidrográfica Carapuças.

Dentre as altitudes extraídas da microbacia, a Figura 6 ilustra a distribuição da altitude ponderada pela área da bacia, onde teve como altitude média 720 m. A MBH Carapuças apresenta uma variação de altitude de 562 e 878 m, como pode ser visto no mapa apresentado na Figura 7.

A altitude média influencia diretamente na

quantidade de radiação que a microbacia recebe, por consequência, a evapotranspiração, a temperatura e precipitação na mesma. De maneira geral, quanto maior for a altitude da bacia, menor então, a energia quantidade de energia depositada nela.

A temperatura também varia em função da altitude e, vale ressaltar que, variações

proporcionalmente grandes, ocasionam diferenças significativas na temperatura, que, por sua vez, também causa variações na evapotranspiração.

O município de Afogados de Ingazeira é localizado no sertão, com o clima semiárido. Neste contexto, é relevante associar que com altitudes baixas, como é o caso da MBH Carapuças, é comum

que quase toda energia seja utilizada para evaporar a água, o que justifica o alto índice evapotranspiração em toda a região. Diferente das regiões com altas altitudes, em que tendem a receber uma maior quantidade de precipitação, e por consequência, a perda de água na área é menor.

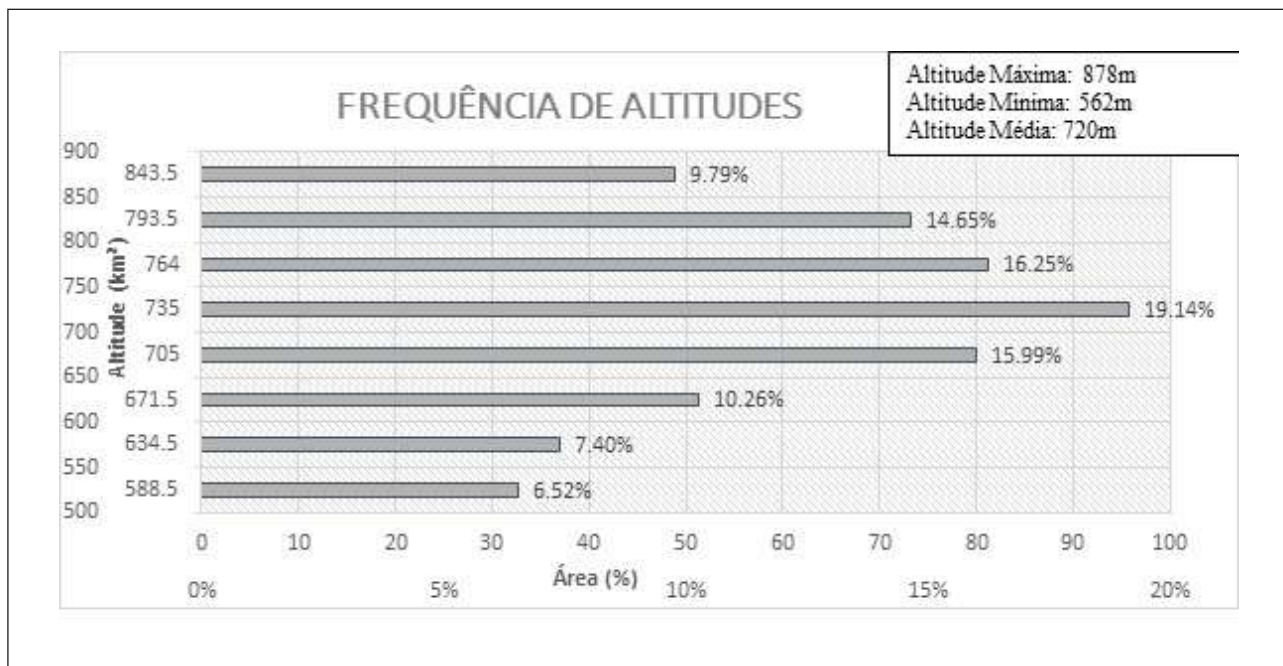


Figura 6 Distribuição das altitudes pela área da Microbacia Hidrográfica Carapuças

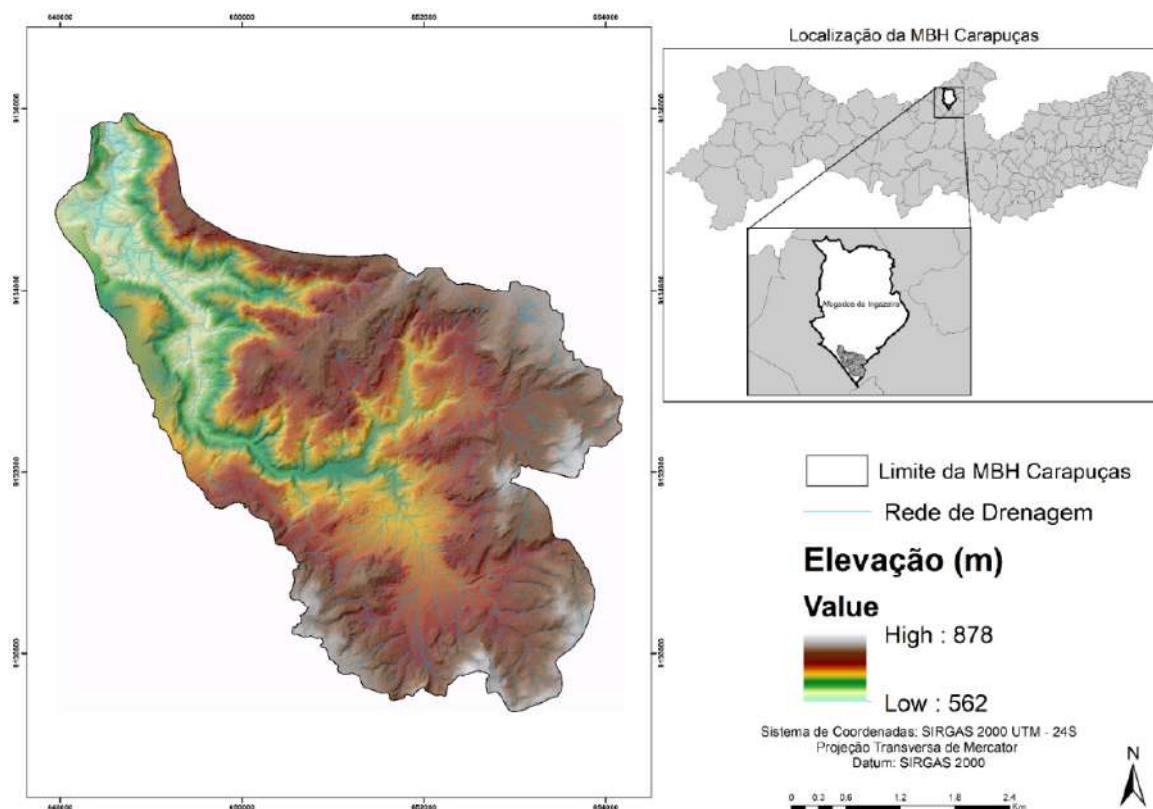


Figura 7 Mapa Hipsométrico da Microbacia Hidrográfica Carapuças

4 Conclusões

A gestão e o planejamento dos recursos hídricos tornaram-se ferramentas estratégicas para a gestão territorial. As bacias hidrográficas, ou também denominadas energéticas, devido ao fluxo contínuo de troca de matérias e energia, são áreas de captação natural e foram tratadas como uma subunidade de planejamento devido a sua menor extensão, de modo a permitir o estudo detalhado das interações entre o relevo e a quantidade de água disponível para dada área. O uso de microbacias para a implantação do Conceito Base Zero, com área aproximada a 2000 ha, de acordo com Padilha *et al.* (2004), viabiliza o desenvolvimento sustentável para 20 a 50 famílias, cada uma com 40 a 100 hectares.

A análise dos dados morfométricos permitiu compreender o regime hidrológico e inferir sobre o manejo da Microbacia Carapuças. A mesma apresentou baixa susceptibilidade a enchentes, caracterizadas como pouco permeáveis, com tendência à forma alongada e excepcionalmente bem drenadas, apesar de grande parte dos seus cursos d'água serem intermitentes. Os índices encontrados indicam que a bacia não apresenta susceptibilidade erosiva, possuindo assim, canais pouco sinuosos, densidade de drenagem baixa e bem ramificada. A microbacia apresentou a maior parte do seu relevo na classe plana (58,235), com altitude mínima 562 m e máxima 878 m.

O conhecimento da morfometria da microbacia é um fator relevante para a construção dos barramentos de pedra colocando em prática a ideia do CBZ em áreas do sertão nordestino, pois permite o conhecimento geral da topografia do terreno, bem como os pontos mais baixos que os cursos d'água podem percorrer. Os resultados obtidos conectados com as exigências do Conceito do Base Zero, implicam que a construção dos barramentos contribui para a diminuição da velocidade das águas das chuvas ao percolarem no terreno, resultando na criação de bolsões de água e, consequentemente, a infiltração das mesmas no subsolo, formando reservatórios subterrâneos, possibilitando o armazenamento dessa água e a utilização da mesma em épocas de estiagem.

O uso do Sistemas de Informação Geográfica otimizou a integração dos diferentes planos de informação e mostrou-se eficiente como ferramenta para o suporte à decisão de políticas públicas. O

grande diferencial do estudo se encontra no subsídio ao Conceito Base Zero a partir da possibilidade da criação de uma base de apoio às ações de gestão territorial utilizando uma nova fonte de dados que apenas o estado Pernambuco possui. A utilização dos dados do PE 3D permite, de forma geral, a criação de uma base de apoio às ações de gestão territorial em todo o estado de Pernambuco, devido ao seu grande diferencial em nível de detalhamento o que provoca um elevado ganho de qualidade na modelagem dos processos hidrológicos.

A base de dados georreferenciada e as informações obtidas neste trabalho deverão contribuir efetivamente para articular e atualizar as propostas de ações para o desenvolvimento sustentável e a preservação dos recursos naturais da área em questão. Os produtos cartográficos gerados permitiram o conhecimento da topografia e, consequentemente, dos baixios, para a identificação e localização dos diques. Além disso, a utilização destes produtos auxilia a um novo planejamento voltado aos recursos hídricos e às necessidades da Microbacia Carapuças, podendo estender a replicação das técnicas utilizadas para implementação em demais áreas do sertão pernambucano visando solucionar os problemas recorrentes de abastecimento nas áreas de seca do sertão.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPQ pelo apoio através de bolsas no desenvolvimento desse trabalho e à Agência Pernambucana de Águas e Clima pela cessão dos Modelos Digitais de Superfície e do Terreno do Programa Pernambuco Tridimensional – PE 3D.

6 Referências

- Aguiar, L.C.; Grosse, M.D.; Oliveira, L.G. & Ávila, M.L. 2019. As políticas públicas no semiárido brasileiro: uma revisão de literatura. *Revista Econômica do Nordeste*, 50 (2): 9-22.
- Almeida, R.F.B. 2017. *Morfometria e uso da terra da bacia hidrográfica do Rio do Coco e suas implicações sobre a produção e transporte de sedimentos*. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Tese de Doutorado, 134p.
- Alves, F.H.B. 2017. *Sistema de Previsão de enchentes: integração de modelos de previsão de chuva, simulação hidrológica e hidrodinâmica*. Programa de Pós-gra-

- duação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado, 183p.
- Barreto, K.T. & Pinto, M.L.C. 2017. Caracterização dos Indicadores Geomorfológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Verde, Ponta Grossa – PR. *Geografia, Ensino & Pesquisa*, 21(2): 164-173.
- Brito, L.T.L.; Moura, M.S.B. & Gama, G.F.B. 2007. *Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro. Embrapa Semiárido*. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 93p.
- Castro, C.N. 2017. Uma análise sobre diferentes opções de políticas para a agricultura irrigada no semiárido. *Boletim Regional, urbano e ambiental*, 16: 19-29.
- Cirilo, J.A.; Alves, F.H.B.; Silva, B.M. & Campos, P.H.A.L. 2015. Pernambuco Tridimensional: base de dados espaciais para planejamento urbano e gestão territorial. In: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, 12, Brasília, 2015. Anais, SILUBRA, p. 1-10.
- Consórcio de Águas de Pernambuco. 2017. Relatório Final de Atividades Executadas BLOCO III.
- Embrapa. 2018. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF. Embrapa-SPI, 5, 355p.
- Felgueiras, C.A. 1997. Análises sobre Modelo Digitais de Terreno em Ambientes de Sistemas de Informação Geográfica. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN ESPACIAL, 8, Mérida, Venezuela, p. 1-12.
- Galvão, M.C.; Lotta, G.S. & Bauer, M. 2012. New Institutional Arrangements for Public Policy Management. In: IR-SPM MEETING, 16, Roma, Anais, 2012.
- Gheyi, H.R.; Paz, V.P.S.; Medeiros, S.S. & Galvão, C.O. 2012. *Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas: estudos e aplicações*. Instituto Nacional do Semiárido, Universidade Federal do Recôncavo Baiano – UFRB. 258p.
- Grupo de Trabalho para Delimitação do Semiárido. 2017. Ministério da Integração Nacional. Portaria n. 196. Relatório Final. Brasília. Disponível em: <http://sude.gov.br/images/2017/arquivos/Item_1.6.6_-_Relat%C3%B3rio_final_do_GT_Delimita%C3%A1rido.pdf>. Acesso em: 20 de nov. 2019.
- Kuster, A & Martí, J.F. 2009. *Políticas Públicas para o Semiárido: experiências e conquistas no Nordeste do Brasil*. Embrapa Caprinos e Ovinos. Fortaleza, Fundação Konrad Adenauer. 152p.
- Mioto, C.L., Oliveira, R.V., Queiroz, S.D.M., Pereira, T.V., Anache, J.A.A. & Paranhos, F.A.C. 2017. Morfometria de bacias hidrográficas através de SIGs livres e gratuitos. *Anuário do Instituto de Geociências*, 37(2): 16-22.
- Padilha, D.G. 2012. *Geoprocessamento aplicado na caracterização da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Grande, RS*. Programa de Pós-graduação em Geomática, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado, 87p.
- Padilha, J.A.; Zanghetin, M.F.L. & Ortega, E. 2004. O uso da água nas micro-bacias hidrográficas do Semiárido do Nordeste brasileiro e o conceito base zero. In: PROCEEDINGS OF IV BIENNIAL INTERNATIONAL WORKSHOP “ADVANCES IN ENERGY STUDIES”. Campinas, UNICAMP, p. 65-72.
- Pérez-Marin, A.M.; Rogé, P.; Altieri, M.A.; Forero, U.; Silveira, L.; Oliveira, V.M. & Domingues-Leiva, B.E. 2017. Agroecological and Social Transformations for Coexistence with semi-aridity in Brazil Aldrin. *Sustainability*, 9: 1-17.
- Pontes, E.T.M. 2010. *Transições paradigmáticas : do combate à seca à convivência com o semiárido nordestino, o caso do programa um milhão de cisternas no município de Afogados da Ingazeira – PE*. Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado, 180p.
- Purificação, N.R.S. & Silva, R.M. 2017. *Estudo de micro e nanobacias hidrográficas para subsidiar a implantação do conceito base zero em áreas rurais do semiárido nordestino*. Universidade Federal de Pernambuco, Trabalho de Conclusão de Curso, 75p.
- Santos, D.B.; Britto, L.T.; Gnadlinger, J.; Cohim, E.; Paz, V.P.S. & Gehy, H.R. 2012. Captação de água de chuva para fins agropecuários no semiárido. In: RECURSOS HÍDRICOS EM REGIÕES SEMIARIDAS, Campina Grande, p. 76-99.
- Stipp, N.A.F.; Campos, R.A. & Caviglione, J.H. 2010. Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Taquara – uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. *Portal da Cartografia*, 3(1): 105-124.
- Sousa, F.A & Rodrigues, S.C. 2012. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. *Mercator*, 11(25): 142-148.
- Ximenes, O.T. 2017. Tecnologias sociais para a convivência com as estiagens no Semiárido do Nordeste Brasileiro: Uma investigação sobre o Conceito Base Zero (CBZ). In: Artigo Científico referente ao Curso de Pesquisa em Geografia. Pós-Graduação em Ensino de Geografia. Moreno, Pernambuco, p. 1-13. Disponível em: <http://prpi.ifce.edu.br/nl/_lib/file/doc2736-Trabalho/Artigo%20BASE%20ZERO.pdf>. Acesso em: 26 de nov. 2019.